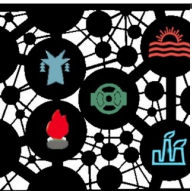


# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, АВТОМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНХРОВЕКТОРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

**Мокеев А.В., Пискунов С.А.**

*ООО «Инженерный центр «Энергосервис»,  
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова*



$$\dot{I} \rightarrow \dot{I}(t), \dot{U} \rightarrow \dot{U}(t), \dot{E} \rightarrow \dot{E}(t)$$

Задан синхровекторы ЭДС  $\dot{E}_1(t)$  и  $\dot{E}_2(t)$ .

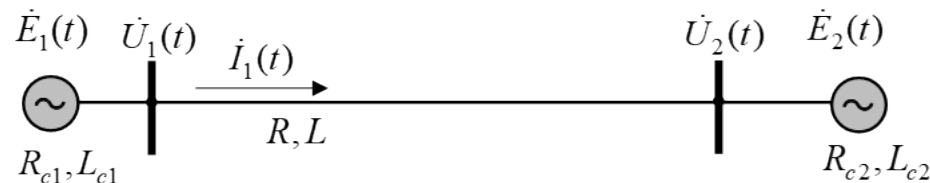
Определить синхровектор  $\dot{I}_1(t)$



№	Метод	Выражения
1	Декомпозиция ЭДС	$\Delta e(t) = e_1(t) - e_2(t), \Delta e(t) = \text{Re}(\dot{\mathbf{E}}^T e^{pt}), \dot{\mathbf{E}} = [\dot{E}_n]_N = [E_{m_n} e^{-j\varphi_n}]_N, \mathbf{p} = [-\beta_n + j\omega_n]_N$ $\dot{\mathbf{I}}_1(t) = \dot{\mathbf{E}} \circ Y(\mathbf{p}, t), \dot{\mathbf{I}}_{1s} = \dot{\mathbf{E}} \circ Y_0(\mathbf{p}), \dot{\mathbf{I}}_{1f}(t) = \dot{\mathbf{E}} \circ Y_1(\mathbf{p}, t),$ $Y(p, t) = \int_0^t g(\tau) e^{-p\tau} d\tau, Y(p, t) = Y_0(p) + Y_1(p, t), g(t) \Leftrightarrow Y_0(p) = \frac{1}{R_\Sigma + pL_\Sigma}$
2	Частотно-временной подход	$\dot{I}_1(t) = \Delta \dot{E}(t) Y_0(j\omega_0) + \int_0^t Y_1(j\omega_0, \tau) d\Delta \dot{E}(t - \tau) + \Delta \dot{E}(0) Y_1(j\omega_0, t)$
3	Упрощенный частотно-временной подход	$\dot{I}_1(t) \approx \Delta \dot{E}(t) Y(j\omega(t), t), \dot{I}_{1s}(t) \approx \Delta \dot{E}(t) Y(j\omega(t)), \dot{I}_{1f}(t) \approx \Delta \dot{E}(0) Y_1(j\omega(t), t)$ <p>где <math>\omega(t)</math> - мгновенная частота, рассчитываемая на основе <math>\Delta \dot{E}(t)</math></p>
4	Решение дифференциального уравнения	$\dot{I}_1(t) = \frac{1}{L_\Sigma} \int_0^t \Delta \dot{E}(\tau) e^{p_1(t-\tau)} d\tau,$ $p_1 = \beta_1 + j\omega_0, \beta_1 = R_\Sigma / L_\Sigma, \omega_0 = 2\pi 50 \text{ рад/с}$
5	На основе интеграла свертки	$\dot{I}_1(t) = \frac{1}{L_\Sigma} \int_0^t \Delta \dot{E}(t - \tau) e^{-p_1\tau} d\tau$

○ — операция умножения векторов

Заданы синхровекторы ЭДС  $\dot{E}_1(t)$  и  $\dot{E}_2(t)$ ,  
 параметры линии и энергосистем.  
 Определить синхровекторы  $\dot{I}_1(t)$ ,  $\dot{U}_1(t)$ ,  $\dot{U}_2(t)$ .



№	Наименование	Выражение
1	Дифференциальное уравнение	$\Delta e(t) = i(t)R_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{di(t)}{dt}$ , где $\Delta e(t) = e_1(t) - e_2(t)$ $R_{\Sigma} = R + R_{c1} + R_{c2}$ , $L_{\Sigma} = L + L_{c1} + L_{c2}$
2	Подстановка	$i_1(t) \rightarrow \dot{I}_1(t)e^{j\omega_0 t}$ , $\Delta e(t) \rightarrow \Delta \dot{E}(t)e^{j\omega_0 t} = (\dot{E}_1(t) - \dot{E}_2(t))e^{j\omega_0 t}$
3	Выражения с синхровекторами	$\Delta \dot{E}(t) = \underline{z}_{\Sigma} \dot{I}(t) + L_{\Sigma} \frac{d\dot{I}(t)}{dt}$ , $\underline{z}_{\Sigma} = R_{\Sigma} + j\omega_0 L_{\Sigma}$
4	Определение синхровектора тока	$\dot{I}_1(t) = \frac{1}{L_{\Sigma}} \int_0^t \Delta \dot{E}(\tau) e^{p_1(t-\tau)} d\tau$ , $p_1 = \beta_1 + j\omega_0$ , $\beta_1 = R_{\Sigma} / L_{\Sigma}$ , $\omega_0 = 2\pi 50$ рад/с
5	Определение синхровектора напряжения $\dot{U}_1(t)$	$\dot{U}_1(t) = \dot{E}_1(t) - \underline{z}_{c1} \dot{I}_1(t) - L_{c1} \frac{d\dot{I}_1(t)}{dt}$
6	Определение синхровектора напряжения $\dot{U}_2(t)$	$\dot{U}_2(t) = \dot{U}_1(t) - \underline{z} \dot{I}_1(t) - L \frac{d\dot{I}_1(t)}{dt}$ , $\underline{z} = R + j\omega_0 L$

**Идентификация параметров линии**

Известны  $\dot{I}_1(t)$ ,  $\dot{U}_1(t)$  и  $\dot{U}_2(t)$ ,  
параметры энергосистемы.

Требуется выполнить оценку  
параметров линии.

Из дифференциального уравнения

$$\Delta u(t) = R_1 i_1(t) + L_1 \frac{di_1(t)}{dt}$$

получим следующее уравнение

$$\Delta \dot{U}(t) = \underline{z}_1 \dot{I}_1(t) + L_1 \frac{d\dot{I}_1(t)}{dt}.$$

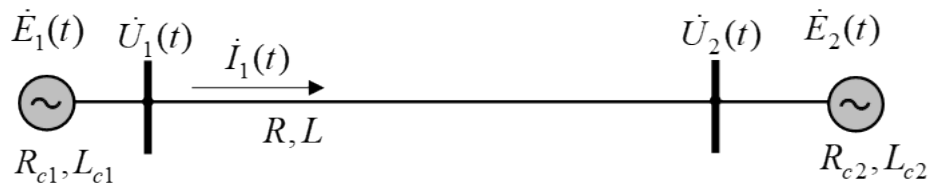
Оценка сопротивления

$$\underline{z}_1 = \frac{\Delta \dot{U}(t)}{\dot{I}(t) + \underline{k}_1 \dot{I}'(t)},$$

$$\text{где } \dot{I}'_1(t) = \frac{d\dot{I}_1(t)}{dt}, \quad \underline{k}_1 = \frac{L_{\text{уд}}}{\underline{z}_{\text{уд}}}.$$

Переход к цифровой модели

$$\underline{z}_1 = \frac{\Delta \dot{U}(n)}{\dot{I}(n) + \underline{k}_1 \nabla \dot{I}(n)}$$

**Виртуальное УСВИ**

Известны  $\dot{I}_1(t)$ ,  $\dot{U}_1(t)$ ,  $\underline{z}_1$ .

Требуется найти  $\dot{U}_2(t)$ .

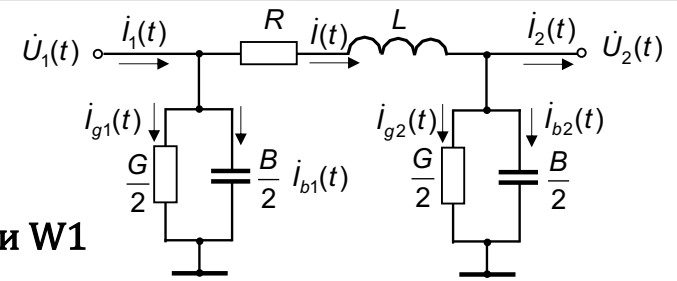
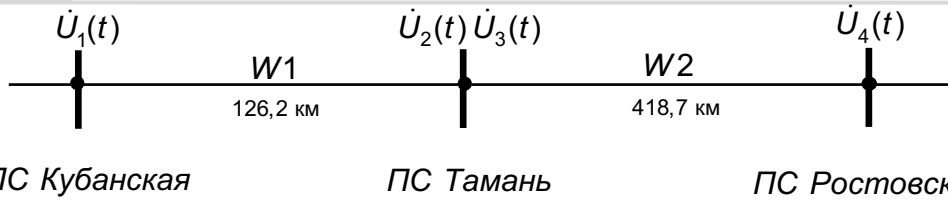
$$\dot{U}_2(t) = \dot{U}_1(t) - \underline{z}_1 \dot{I}_1(t) - L_1 \frac{d\dot{I}_1(t)}{dt}$$

**Оценка состояния энергосистемы**

Преимущества:

- точная оценка параметров схемы замещения энергосистемы при электромеханических и электромагнитных переходных процессах;
- реализация виртуальных УСВИ,
- верификация данных СВИ.

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ



Оценка  $\dot{U}_1(t)$  на основе  $\dot{U}_2(t)$ ,  $\dot{I}_2(t)$  и заданных параметрах линии W1

$$\dot{I}(t) = \dot{I}_2(t) + \dot{I}_{g2}(t) + \dot{I}_{b2}(t)$$

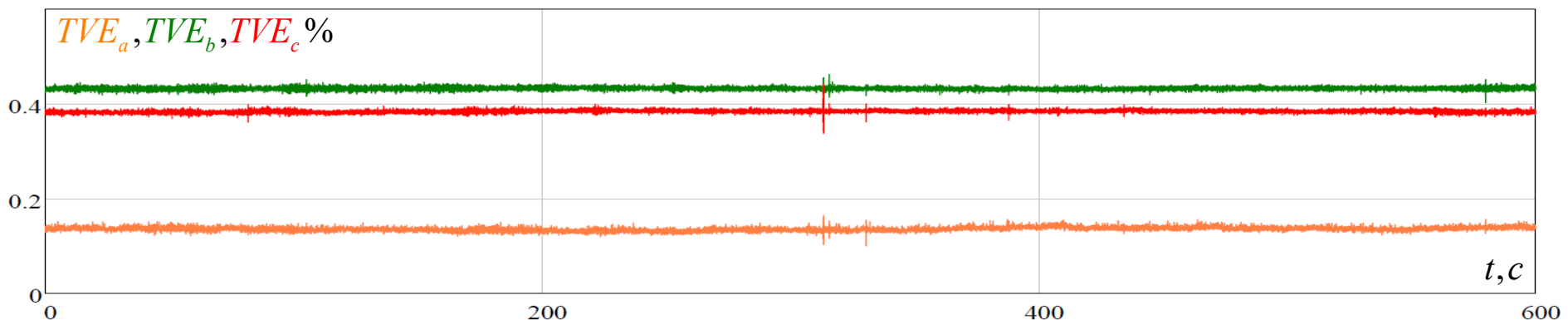
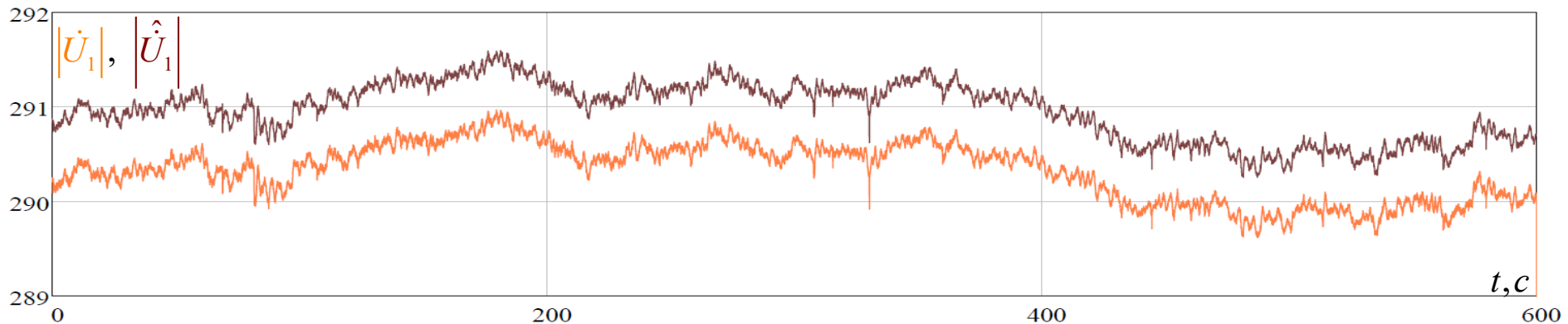
$$\dot{I}(t) = \dot{I}_2(t) + \frac{G}{2}\dot{U}_2(t) + j\frac{B}{2}\dot{U}_2(t) + \frac{B}{2\omega_0} \frac{d\dot{U}_2(t)}{dt}$$

$$\dot{U}_1(t) = \dot{U}_2(t) + \underline{z}\dot{I}(t) + L\frac{d\dot{I}(t)}{dt}, \text{ где } \underline{z} = R + j\omega_0 L$$

$$\dot{I}(n) = \dot{I}_2(n) + \dot{I}_{g2}(n) + \dot{I}_{b2}(n)$$

$$\dot{I}(n) = \dot{I}_2(n) + \frac{G}{2}\dot{U}_2(n) + j\frac{B}{2}\dot{U}_2(n) + \frac{B}{2\omega_0} \nabla \dot{U}_2(n)$$

$$\dot{U}_1(n) = \dot{U}_2(n) + \underline{z}\dot{I}(n) + L\nabla \dot{I}(n)$$

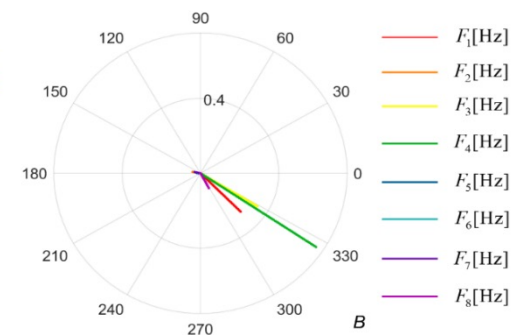
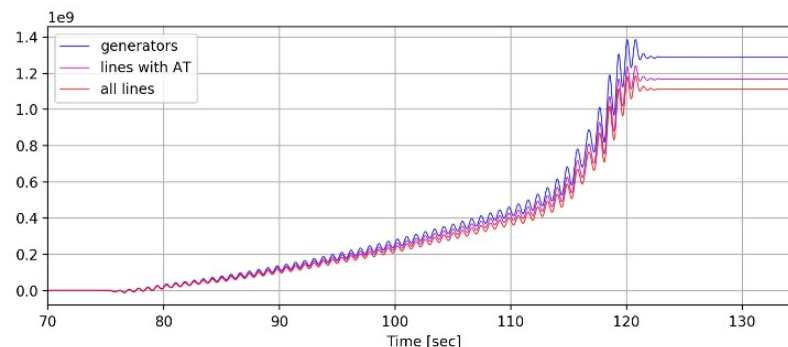
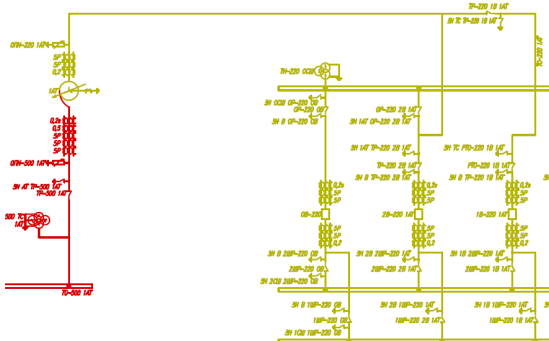


# ПОИСК ИСТОЧНИКА НЧК

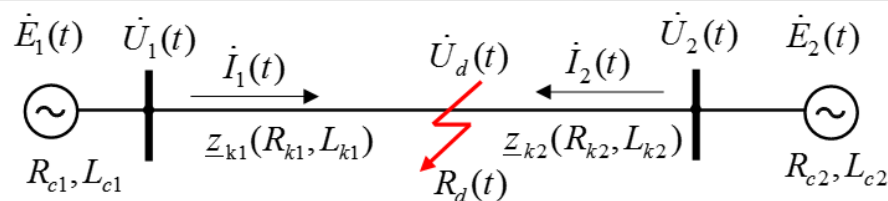
№	Метод	Выражения
2	Частотно-временной подход	$\dot{I}_1(t) = \Delta\dot{U}(t)Y_0(j\omega_0) + \int_0^t Y_1(j\omega_0, \tau) d\Delta\dot{U}(t - \tau) + \Delta\dot{U}(0)Y_1(j\omega_0, t)$
3	Упрощенный частотно-временной подход	$\dot{I}_1(t) \approx \Delta\dot{U}(t)Y(j\omega(t), t), \dot{I}_{1s}(t) \approx \Delta\dot{U}(t)Y(j\omega(t)), \dot{I}_{1f}(t) \approx \Delta\dot{U}(0)Y_1(j\omega(t), t)$ где $\omega(t)$ - мгновенная частота, рассчитываемая на основе $\Delta\dot{E}(t)$
4	Решение дифференциального уравнения	$\dot{I}_1(t) = \frac{1}{L} \int_0^t \Delta\dot{U}(\tau) e^{p_1(t-\tau)} d\tau, \quad p_1 = \beta_1 + j\omega_0, \quad \beta_1 = \frac{R}{L}, \quad \omega_0 = 2\pi 50 \text{ рад/с}$

№	Метод	Выражения
2	Частотно-временной подход	$\dot{I}_1(n) = \Delta\dot{U}(n)Y_0(j\omega_0) + T \sum_{m=0}^n Y_1(j\omega_0, m) \Delta\dot{U}'(n-m) + \Delta\dot{U}(0)Y_1(j\omega_0, n)$
3	Упрощенный частотно-временной подход	$\dot{I}_1(n) \approx \Delta\dot{U}(n)Y(j\omega(n), n), \dot{I}_{1s}(n) \approx \Delta\dot{U}(n)Y(j\omega(n)), \dot{I}_{1f}(n) \approx \Delta\dot{U}(0)Y_1(j\omega(n), n)$ где $\omega(t)$ - мгновенная частота, рассчитываемая на основе $\Delta\dot{E}(t)$
4	Решение дифференциального уравнения	$\dot{I}_1(n) = \frac{T}{L} \sum_{m=0}^n \Delta\dot{U}(m) e^{p_1(n-m)}, \quad p_1 = \beta_1 + j\omega_0, \quad \beta_1 = \frac{R}{L}, \quad \omega_0 = 2\pi 50 \text{ рад/с}$

## The Dissipating Energy Flow (DEF) method    Mode shape estimation (MSE)

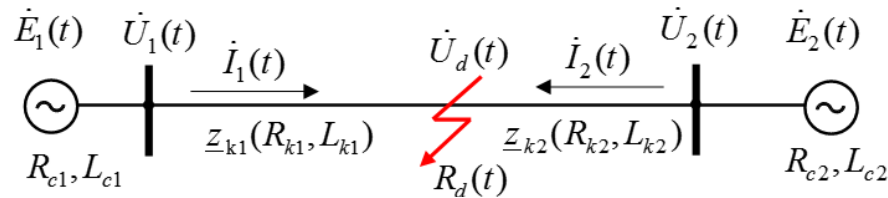


## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА



№	Наименование	Выражение
1	Дифференциальное уравнение	$e_1(t) = i_1(t)R_{\Sigma 1} + L_{\Sigma 1} \frac{di_1(t)}{dt}$ , где $R_{\Sigma 1} = R_{c1} + R_{k1}$ , $L_{\Sigma 1} = L_{c1} + L_{k1}$
2	ДУ после преобразований	$\dot{E}_1(t) = \underline{z}_{\Sigma 1} \dot{I}_1(t) + L_{\Sigma 1} \frac{d\dot{I}_1(t)}{dt}$ , где $\underline{z}_{\Sigma 1} = R_{\Sigma 1} + j\omega_0 L_{\Sigma 1}$
3	Решение ДУ	$\dot{I}_1(t) = \frac{1}{L_{\Sigma 1}} \int_0^t \dot{E}_1(\tau) e^{-p_1(t-\tau)} d\tau$
4	Ток ИП	$i_1(t) = \text{Re}(\dot{I}_1(t) e^{j\omega_0 t})$
5	Пример	$\dot{E}_1(t) = \dot{E}_1 = E_m e^{j\varphi}$
6	Определение первообразной	$F(t, \tau) = \frac{1}{L_{\Sigma 1}} \dot{E} \int e^{-p_1(t-\tau)} d\tau = \frac{\dot{E} \cdot e^{p_1(t-\tau)}}{L_{\Sigma 1} p_1}$
7	Принужденная составляющая	$\dot{I}_{1s} = \frac{\dot{E}_1 \cdot F(t, t)}{L_{\Sigma 1}} = \frac{\dot{E}_1}{p_1 L_{\Sigma 1}} = \frac{\dot{E}_1}{\underline{z}_{\Sigma 1}}$ , $i_{1s}(t) = \text{Re}(\dot{I}_{1s} e^{j\omega_0 t})$
8	Свободная составляющая	$\dot{I}_{1f}(t) = \frac{\dot{E}_1 \cdot F(t, 0)}{L_{\Sigma 1}} = -\frac{\dot{E}}{\underline{z}_{\Sigma 1}} e^{-p_1 t}$ , $i_{1f}(t) = \text{Re}(\dot{I}_{1f}(t) e^{j\omega_0 t}) = -\text{Re}\left(\frac{\dot{E}}{\underline{z}_{\Sigma 1}}\right) e^{-\beta_1 t}$

## ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА



№	Наименование	Выражение
1	Алгоритм ДЗ при одностороннем измерении синхровекторов при междуфазных КЗ	$\hat{z}(t) = \frac{\dot{U}(t)}{\dot{I}(t) + k\dot{I}'(t)},$ <p>где <math>\dot{I}'(t) = \frac{d\dot{I}(t)}{dt}</math>, <math>k = L_{уд}/z_{уд}</math></p>
	Расстояние до точки КЗ	$\hat{l}_k(t) = \frac{\dot{U}(t)}{z_{уд}\dot{I}(t) + L_{уд}\dot{I}'(t)}$
2	Алгоритм ДЗ при одностороннем измерении синхровекторов при однофазных КЗ	$\hat{z}_{A0}(t) = \frac{\dot{U}_A(t)}{\dot{I}_A(t) + k_0 3\dot{I}_0(t) + k_1 \dot{I}'_A(t) + k_{01} 3\dot{I}'_0(t)},$ <p>где <math>k_0 = \frac{z_{0уд} - z_{1уд}}{3z_{1уд}}</math>, <math>k_1 = \frac{L_{1уд}}{z_{1уд}}</math>, <math>k_{01} = \frac{L_{0уд} - L_{1уд}}{3z_{1уд}}</math></p>
3	Алгоритм ДЗ при одностороннем измерении синхровекторов со стороны первой энергосистемы	$\hat{z}_1(t) = \frac{\Delta\dot{U}(t) + z_{уд}\dot{I}_2(t) + L_{уд}\dot{I}'_2(t)}{\dot{I}(t) + k\dot{I}'(t)},$ <p>где <math>\Delta\dot{U}(t) = \dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t)</math>,  <math>\dot{I}(t) = \dot{I}_1(t) + \dot{I}_2(t)</math>, <math>\dot{I}'(t) = \dot{I}'_1(t) + \dot{I}'_2(t)</math></p>
	Расстояние до точки КЗ	$\hat{l}_k(t) = \frac{\Delta\dot{U}(t) + z_{уд}\dot{I}_2(t) + L_{уд}\dot{I}'_2(t)}{z_{уд}\dot{I}(t) + L_{уд}\dot{I}'(t)}$



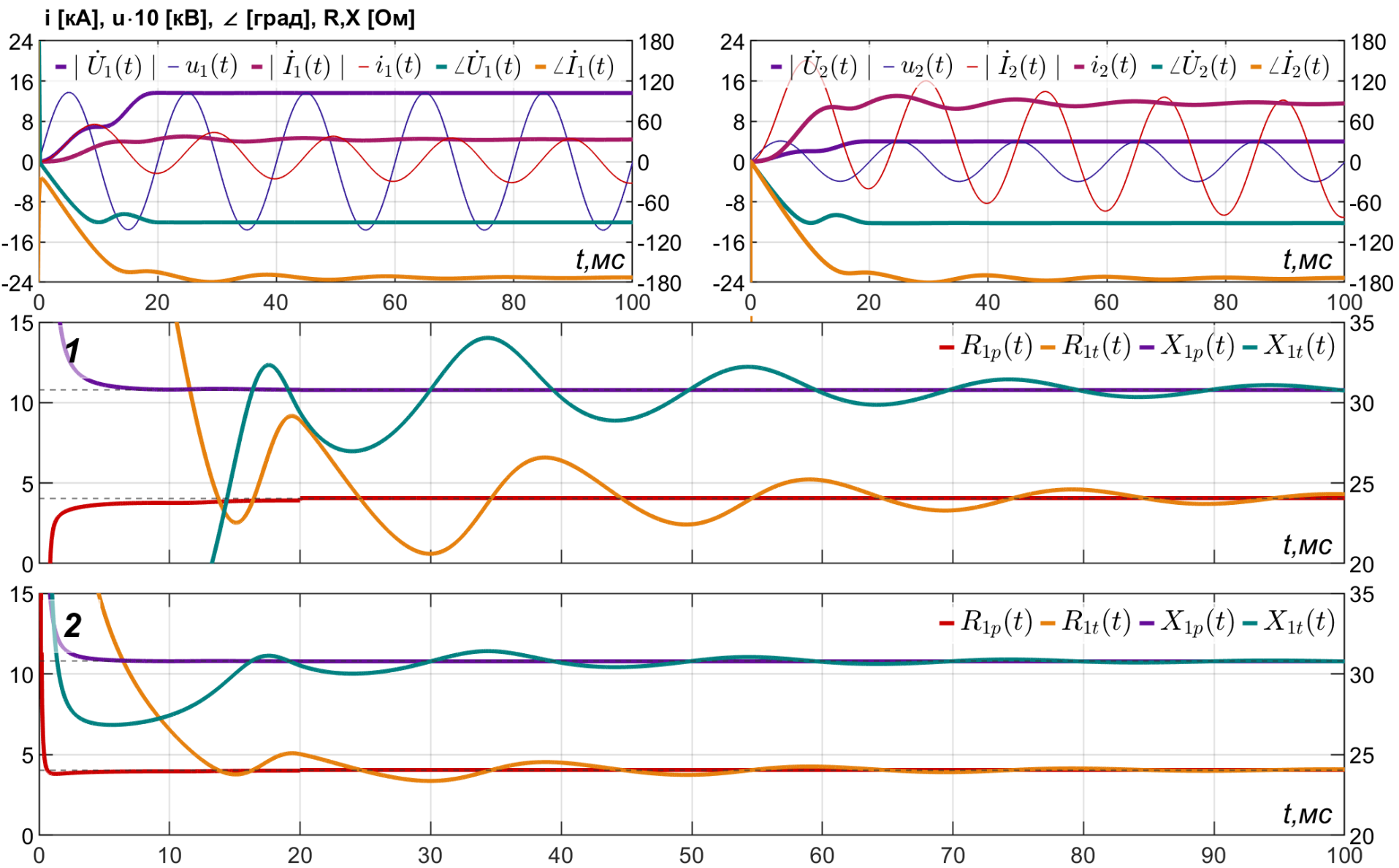
Алгоритм ДЗ на основе односторонних измерений синхровекторов с компенсацией влияния дуги

№	Наименование	Выражение
1	Дифференциальное уравнение линии	$u(t) = i(t)R_{\Sigma} + L \frac{di(t)}{dt}, R_{\Sigma} = R + R_d$
2	Оценка комплексного сопротивления	$\hat{z}_{\Sigma}(t) = \frac{\dot{U}(t)}{\dot{I}(t) + \underline{k}\dot{I}'(t)},$ где $\dot{I}'(t) = \frac{d\dot{I}(t)}{dt}, z_{\Sigma}(t) = z + R_d, \underline{k} = L_{yd}/z_{yd}$
3	Оценка параметров петли КЗ	$\hat{L}(t) = \text{Im}(\hat{z}_{\Sigma}(t)), \hat{R}_{\Sigma}(t) = \text{Re}(\hat{z}_{\Sigma}(t))$
4	Оценка сопротивления дуги	$\hat{R}_d(t) = \hat{R}_{\Sigma}(t) - \hat{L}(t) \frac{R_{yd}}{L_{yd}}$
5	Оценка активного сопротивления	$\hat{R}(t) = \hat{R}_{\Sigma}(t) - \hat{R}_d(t).$

Алгоритм ДЗ на основе двухсторонних измерений синхровекторов

№	Наименование	Выражение
1	Оценка комплексного сопротивления при $\dot{I}_1(t) \neq \dot{I}_2(t)$	$\hat{z}_1(t) = \frac{\Delta \dot{U}(t) + z_{yd} \dot{I}_2(t) + L_{yd} \dot{I}'_2(t)}{\dot{I}(t) + \underline{k}\dot{I}'(t)}$
2	Оценка комплексного сопротивления при $\dot{I}_1(t) = \dot{I}_2(t)$	$\hat{z}(t) = \frac{\Delta \dot{U}(t)}{\dot{I}(t) + \underline{k}_1 \dot{I}'(t)}$

## Оценка $R, X$ при одностороннем (1) и при двухстороннем (2) замере

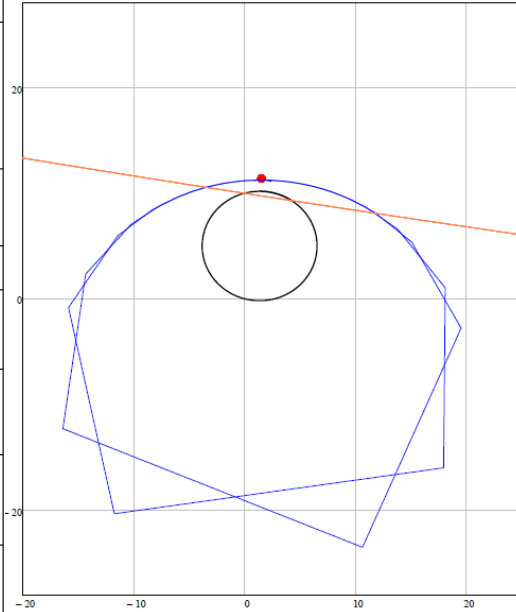


**Основные влияющие факторы:**

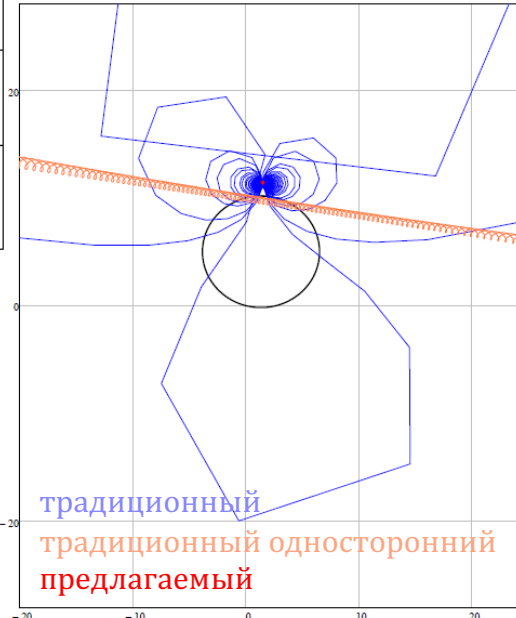
- наличие нелинейного переходного сопротивления дуги в месте КЗ;
- вероятность ложного срабатывания ДЗ в условиях электромеханических переходных процессов, прежде всего при качаниях и в асинхронном режиме энергосистемы;
- вероятность ложного срабатывания ДЗ в условиях электромагнитных переходных процессов;
- обеспечение направленности действия ДЗ при близких КЗ;
- различные алгоритмы ДЗ при междуфазных и однофазных КЗ;
- погрешности, вносимые ИТТ и ИТН;
- погрешности устройства релейной защиты;
- необходимость компенсации влияния параллельной линии;
- влияние режима нагрузки;
- влияние заземление опоры;
- влияние заземленных силовых трансформаторов;
- несимметрия линии;
- влияние УПК.

# РАБОТА ДЗ В АСИНХРОННОМ РЕЖИМЕ

синхровекторы процессов



оценка синхровекторов

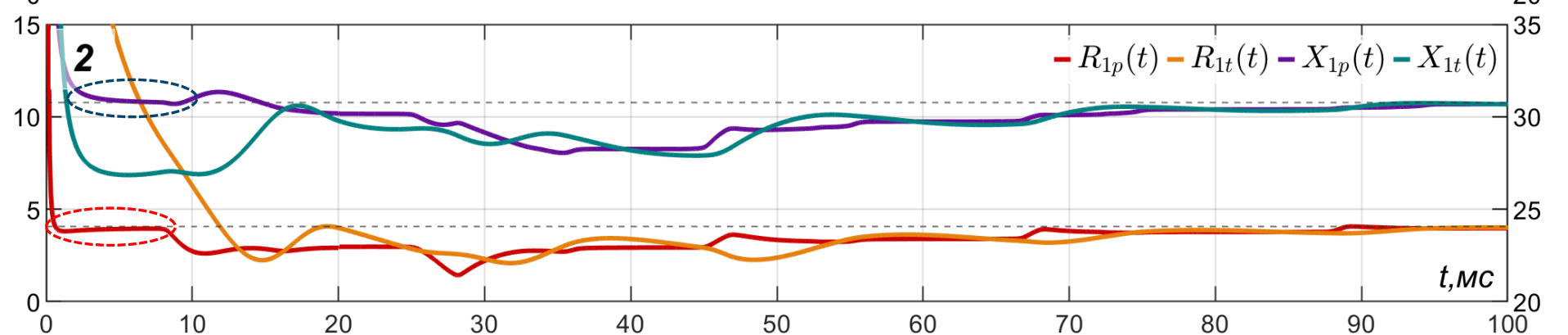
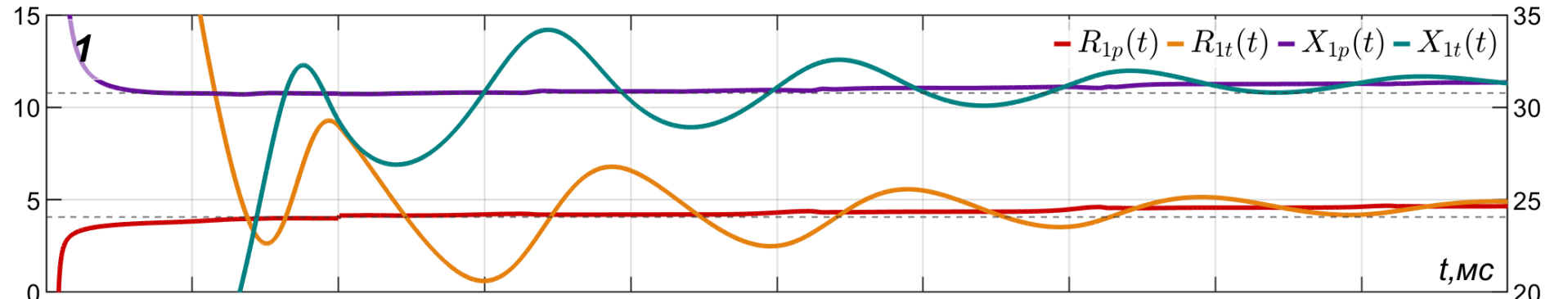
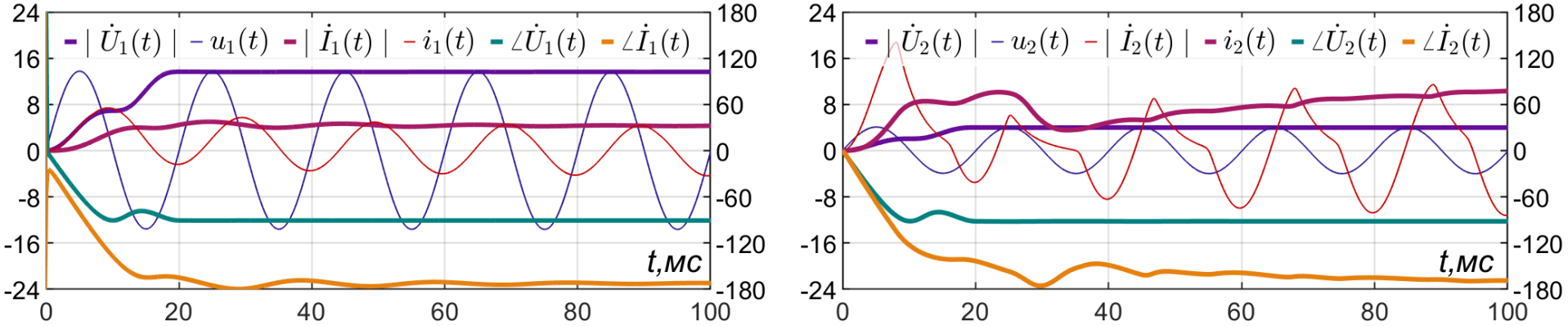


№	Наименование	Выражение
1	Энергосистема	<p>236 кВ  <math>\omega_1 = 2\pi 45</math> рад/с  <math>Z_{s1} = 1,2 + j12,8</math> Ом</p> <p>231 кВ  <math>\omega_0 = 2\pi 50</math> рад/с  <math>Z_{s0} = 0</math></p>
2	ДУ	$\Delta e(t) = R_{03}i(t) + L_{03} \frac{di(t)}{dt}$
3	Синхровекторы	$\dot{E}_1(t) = \dot{E} e^{j\Delta\omega t}$ , $\Delta \dot{E}(t) = \dot{E}_1(t) - \dot{E}_0$ , $\Delta\omega = -2\pi 5$ рад/с
4	Подстанция в ДУ	$\Delta \dot{E}(t) = z_{03} \dot{I}(t) + L_{03} \frac{d\dot{I}(t)}{dt}$
5	Неоднородное ДУ	$\frac{d\dot{I}(t)}{dt} + p_{03} \dot{I}(t) = \frac{1}{L_{03}} \Delta \dot{E}(t)$ , где $p_{03} = \beta_{03} + j\omega_0$ , $\beta_{03} = \frac{R_{03}}{L_{03}}$
6	Синхровектор тока	$\dot{I}(t) = \frac{1}{L_{03}} e^{-p_{03}t} \int_0^t \Delta \dot{E}(\tau) e^{p_{03}\tau} d\tau$
7	Принужденная компонента $\dot{I}(t)$	$\dot{I}_p(t) = \frac{\dot{E}}{z_{\Delta 03}} e^{j\Delta\omega t} - \frac{\dot{E}_0}{z_{03}}$ , где $z_{\Delta 03} = R_{03} + j(\omega + \Delta\omega)L_{03}$
8	Синхровектор напряжения $\dot{U}_{1p}(t)$	$\dot{U}_{1p}(t) = \dot{E}_1(t) - z_{01} \dot{I}_p(t) - L_{01} \frac{d\dot{I}_p(t)}{dt} = \left(1 - \frac{z_{01}}{z_{\Delta 03}} + \frac{j\Delta\omega L_{01}}{z_{\Delta 03}}\right) \dot{E}_1 e^{j\Delta\omega t} + \frac{z_{01}}{z_{03}} \dot{E}_0$
9	Синхровектор напряжения $\dot{U}_{2p}(t)$	$\dot{U}_{2p}(t) = \dot{U}_{1p}(t) - z_{12} \dot{I}_p(t) - L_{12} \frac{d\dot{I}_p(t)}{dt} = \left(1 - \frac{z_{02}}{z_{\Delta 03}} + \frac{j\Delta\omega L_{02}}{z_{\Delta 03}}\right) \dot{E}_1 e^{j\Delta\omega t} + \frac{z_{02}}{z_{03}} \dot{E}_0$
10	Разность синхровекторов напряжений	$\Delta \dot{U}_p(t) = \dot{U}_{1p}(t) - \dot{U}_{2p}(t) = \left(\frac{z_{12}}{z_{\Delta 03}} + \frac{j\Delta\omega L_{12}}{z_{\Delta 03}}\right) \dot{E}_1 e^{j\Delta\omega t} + \frac{z_{12}}{z_{03}} \dot{E}_0$

1	Традиционный алгоритм ДЗ, двухсторонний замер	$\hat{z}_{12}(t) = \frac{\Delta \dot{U}(t)}{\dot{I}(t)} = z_{12} \frac{(\omega_0 + \Delta\omega)(\dot{E} e^{j\Delta\omega t} - \dot{E}_0)}{\omega_0 \dot{E} e^{j\Delta\omega t} - (\omega_0 + \Delta\omega) \dot{E}_0}$
2	Традиционный алгоритм ДЗ, односторонний замер	$\hat{z}_{12}(t) = \frac{\dot{U}_1(t)}{\dot{I}(t)} = \frac{\left(1 - \frac{z_{01}}{z_{\Delta 03}} + \frac{j\Delta\omega L_{01}}{z_{\Delta 03}}\right) \dot{E}_1 e^{j\Delta\omega t} + \frac{z_{01}}{z_{03}} \dot{E}_0}{\frac{\dot{E}}{z_{\Delta 03}} e^{j\Delta\omega t} - \frac{\dot{E}_0}{z_{03}}}$
3	Предлагаемый алгоритм	$\hat{z}_{12}(t) = \frac{\Delta \dot{U}(t)}{\dot{I}(t) + k \dot{I}'(t)} = z_{12}$

## Оценка $R, X$ при насыщении измерительных трансформаторов тока

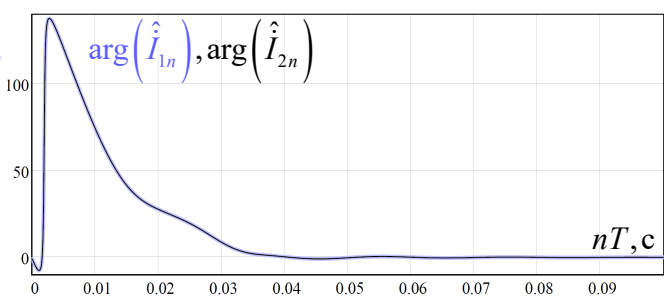
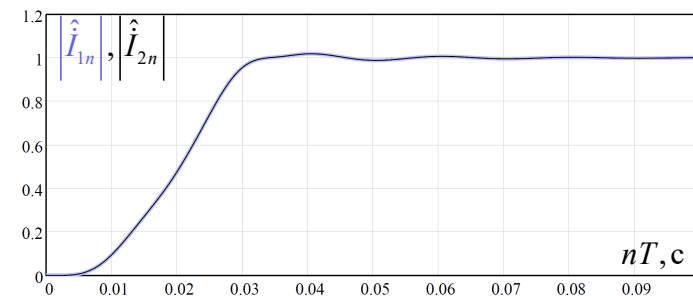
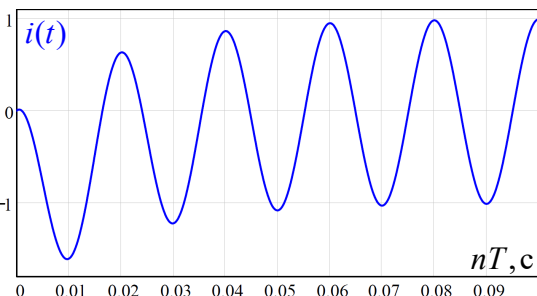
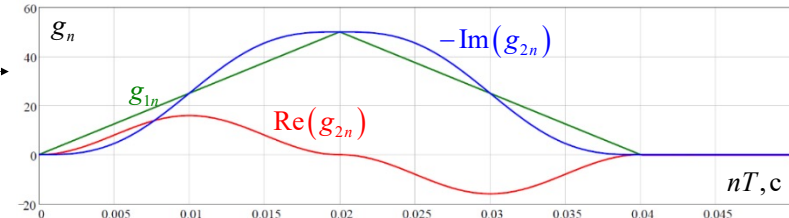
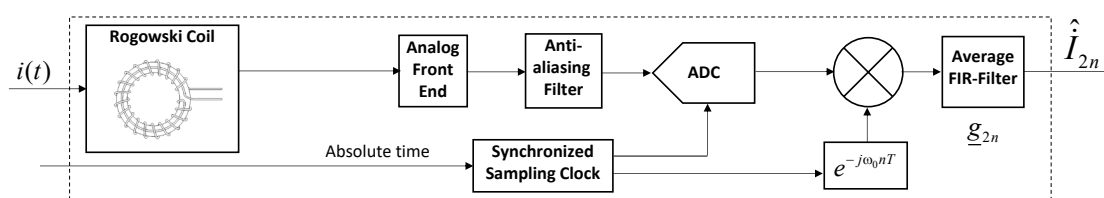
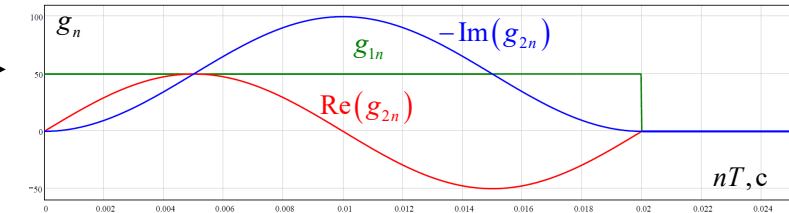
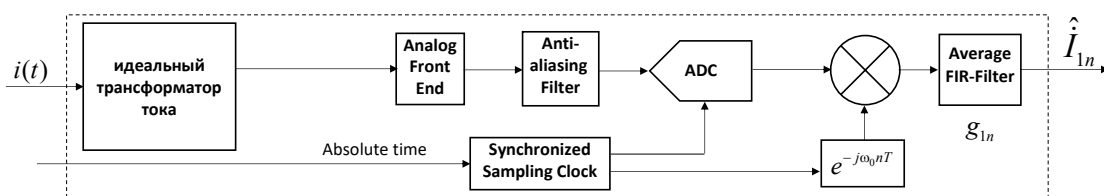
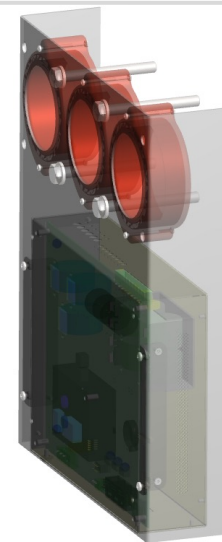
$i$  [кА],  $u \cdot 10$  [кВ],  $\angle$  [град],  $R, X$  [Ом]



# ЦИФРОВОЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ИТТН ЕСІТ

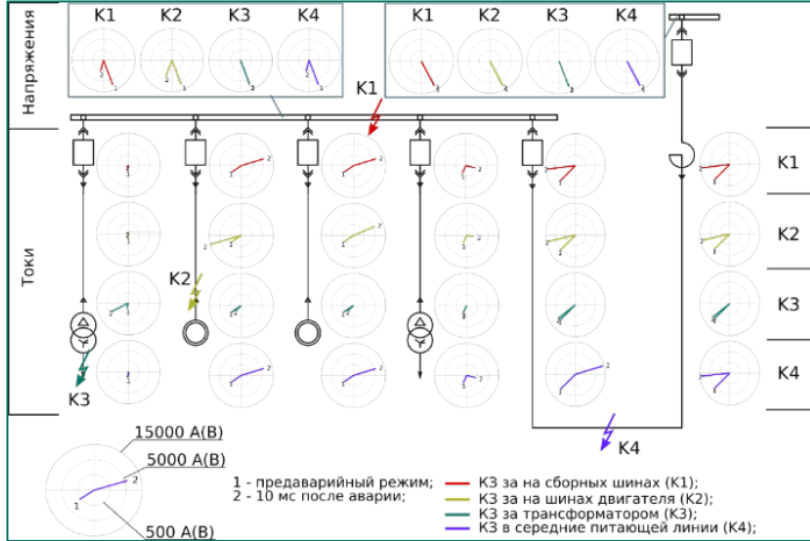


Отличительная особенность первичных измерительных преобразователей тока на основе катушки Роговского связана с пропорциональностью выходного сигнала производной первичного тока. В ЕСІТ производится дополнительная цифровая обработка сигналов для восстановления первичного тока с последующим формированием SV-потокостроения и обработка сигналов для формирования синхровекторов тока. Разработан метод синтеза цифровых фильтров для формирования синхровекторов с учетом особенностей катушки Роговского. При этом вместо усредняющего КИХ-фильтра, необходимо использовать КИХ-фильтр с комплексной импульсной функцией.

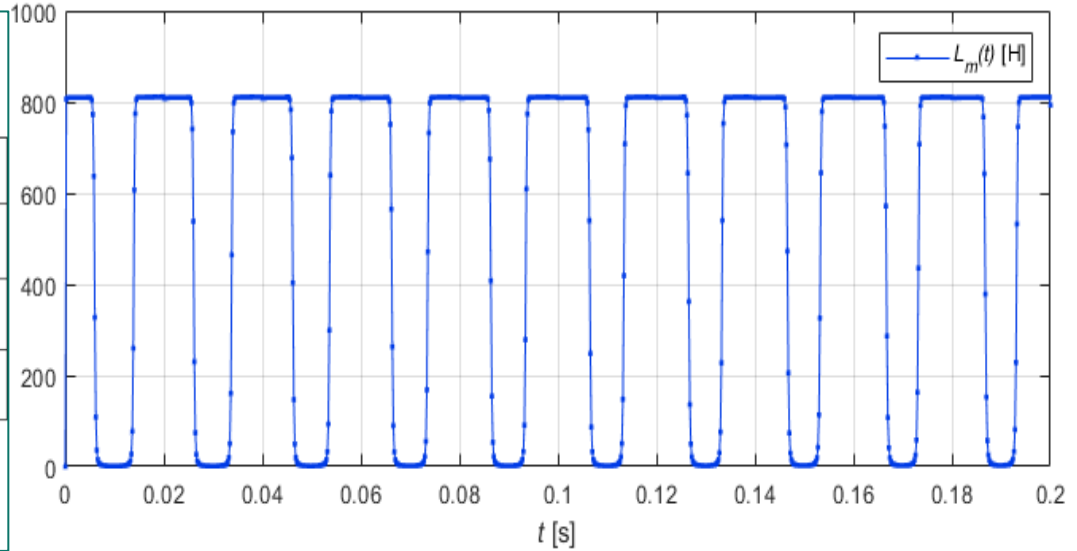


# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВИ В РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

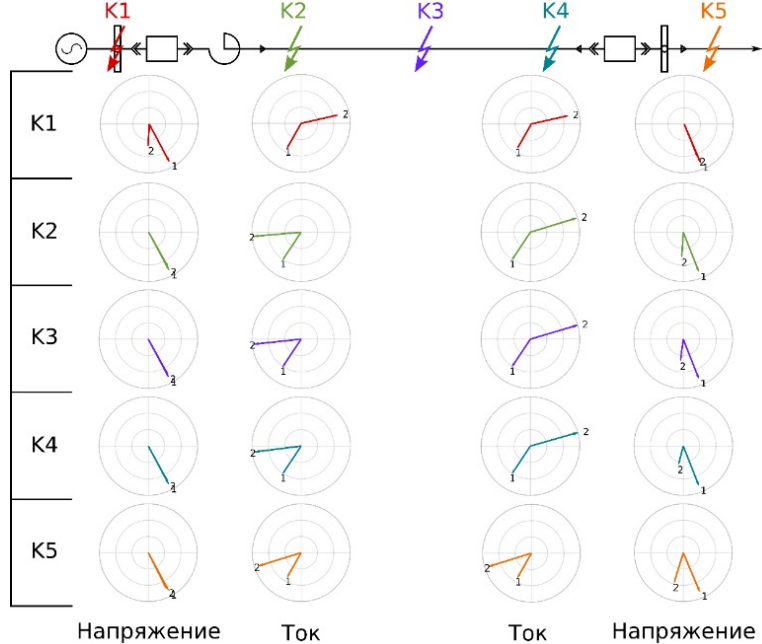
## Защита сборных шин



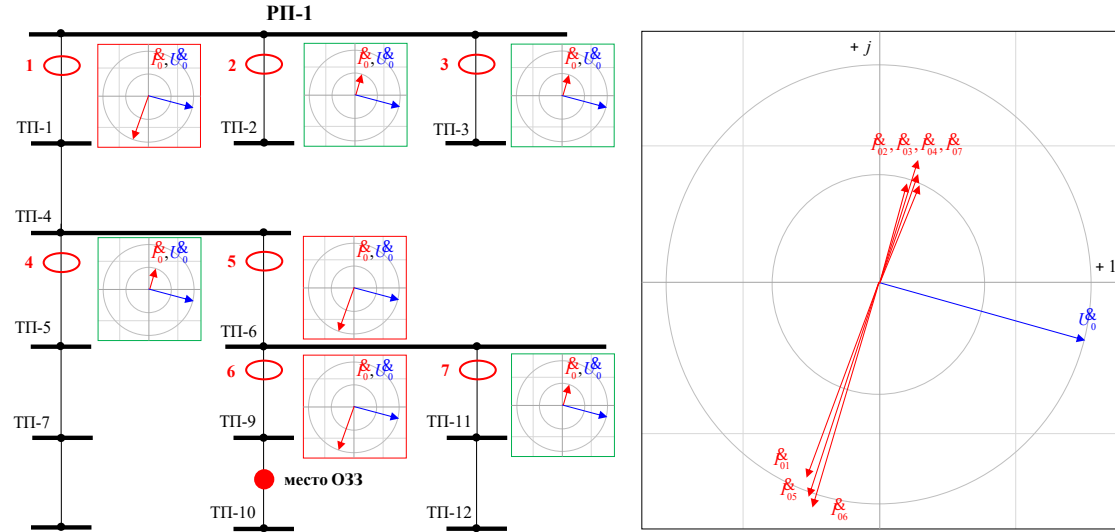
## Защита силового трансформаторов



## Защита кабельной линии



## Направленная защита НП при использовании эквивалентных синхровекторов высших гармоник



# *Благодарим за внимание!*

**Мокеев Алексей Владимирович**

профессор Северного (Арктического) федерального университета, д.т.н.

[a.mokeev@narfu.ru](mailto:a.mokeev@narfu.ru)

зам. генерального директора ООО "Инженерный центр "Энергосервис",

[a.mokeev@ens.ru](mailto:a.mokeev@ens.ru), <http://www.enip2.ru>

**Пискунов Сергей Александрович**

аспирант кафедры «Электроэнергетика и электротехника» САФУ

[piskunov.s@edu.narfu.ru](mailto:piskunov.s@edu.narfu.ru)

инженер группы комплексного проектирования ООО "Инженерный центр "Энергосервис",

[s.piskunov@ens.ru](mailto:s.piskunov@ens.ru)